

Mise en service et suivi des enceintes sous pression des détecteurs de neutrons à l'ILL

J-C Buffet, S. Cuccaro, B. Guérard, **J. Marchal**, J. Penténero, N. Sartor

Institut Laue-Langevin

Diffraction de neutrons

Radiographie neutronique



Diffusion de neutrons
aux petits angles (SANS)

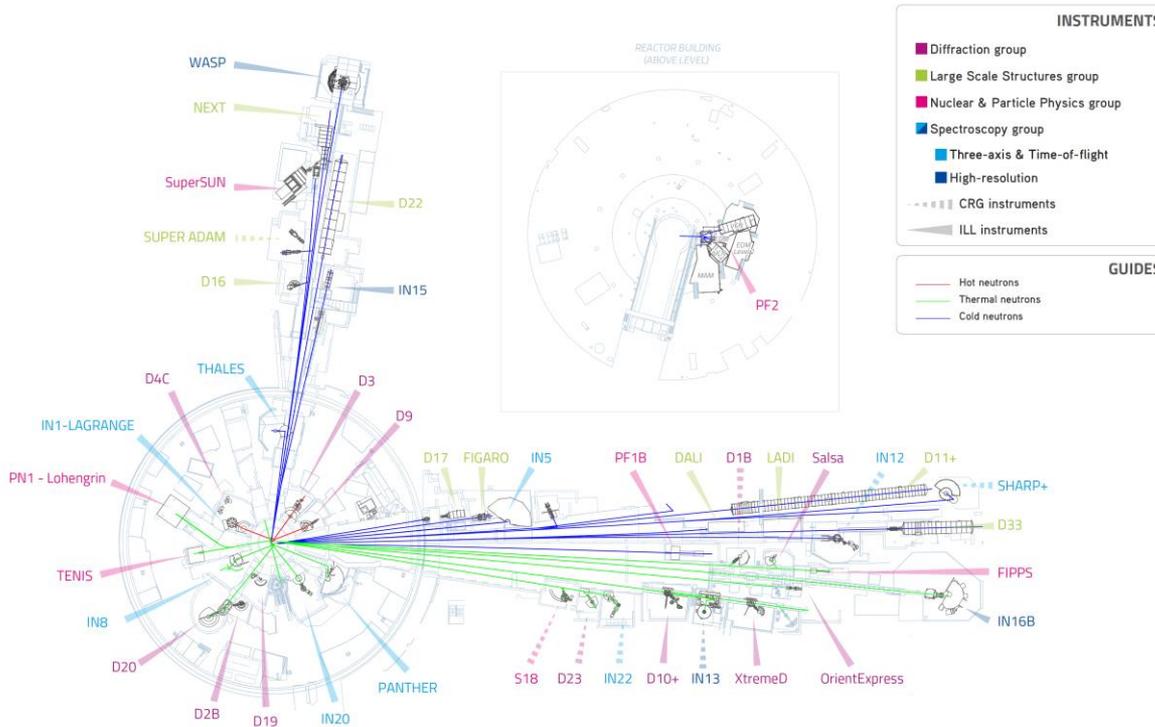
Spectroscopie neutronique

- 3 axes
- Echo de spin
- Rétrodiffusion
- Temps de vol

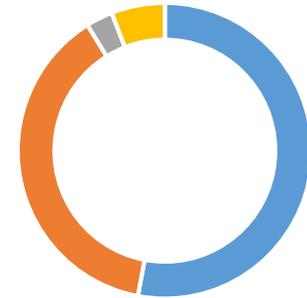
Réflectométrie neutronique

Physique nucléaire

Les détecteurs de neutrons à l'ILL



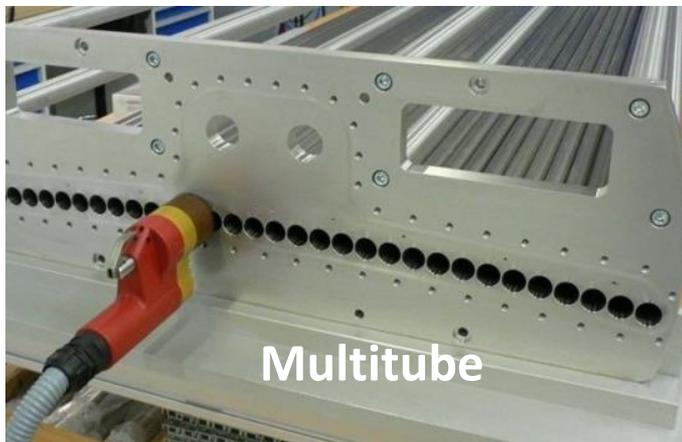
Types de détecteurs installés sur les instruments de l'ILL



- Détecteur 3He développé à l'ILL
- Détecteur 3He acheté dans le commerce
- Image-plate
- Scintillateur + CCD

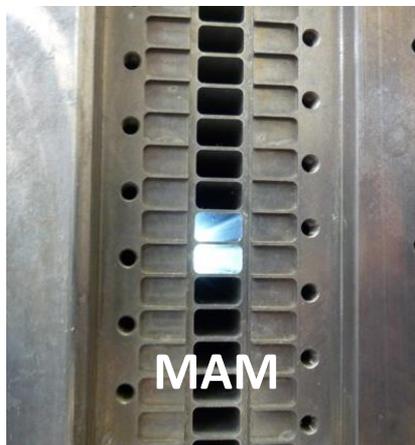
Détecteurs développés à l'ILL

Technologies de detection à base d'Helium3



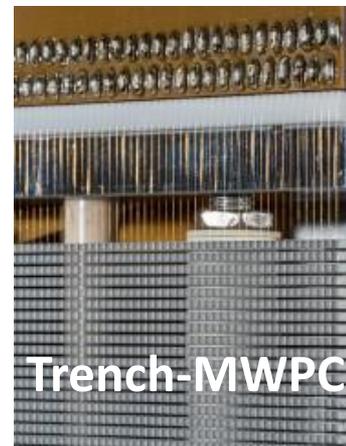
Fils tendus dans des tubes en inox soudés sur une bride commune à tous les tubes

Spectroscopie par temps de vol



Fils tendus dans des tubes à section rectangulaire usinés dans un bloc d'aluminium

Réflectométrie et diffusion aux petits angles

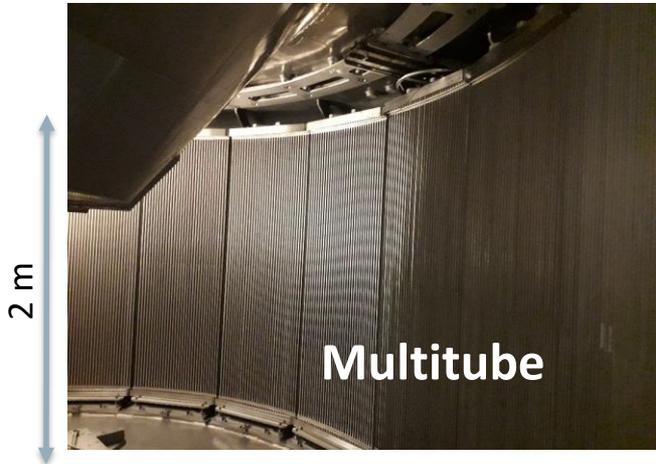


Fils tendus dans des gorges formées par des rangées de dents usinées le long de lames en aluminium

Diffraction de neutrons

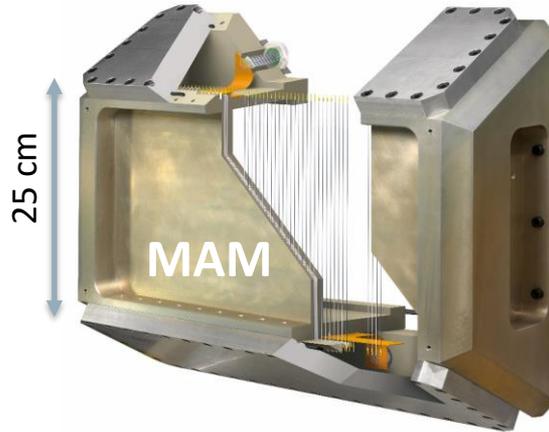
Détecteurs développés à l'ILL

Technologies de détection à base d'Helium3



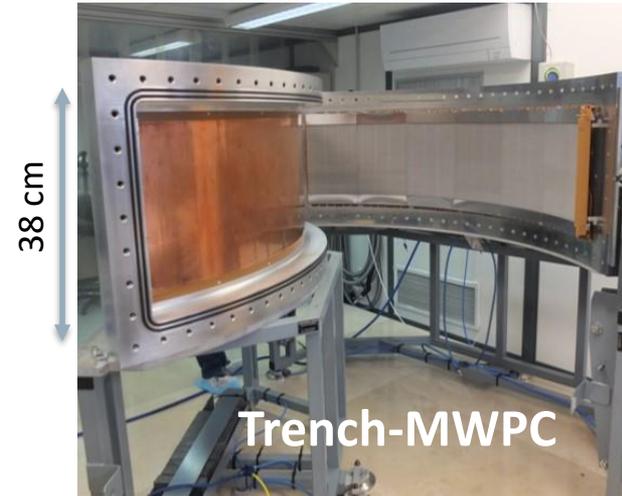
Exemple: Détecteur PANTHER

- 9 modules
- 32 tubes par module
- Diamètre des tubes : 2.2 cm
- Longueur des tubes: 2 m
- Ep. tubes: 0.4 mm



Exemple: Détecteurs Figaro et D17

- 64 tubes
- Section des tubes: 7 mm x 7 mm
- Longueur des tubes: 25 cm
- Ep. entre tubes: 0.5 mm
- Ep. tubes avant et arrière : 2 mm

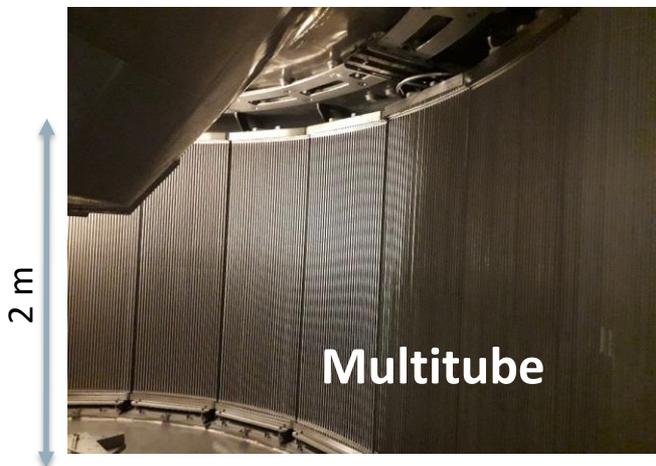


Exemple: Détecteur D16

- 1152 fils et 1152 lames dentées
- Distance entre les gorges: 1.5 mm
- Longueur des gorges: 38 cm
- Ep. fenêtre : 10.2 mm
- Couverture angulaire: 90°

Détecteurs développés à l'ILL

Spécifications des enceintes sous pression

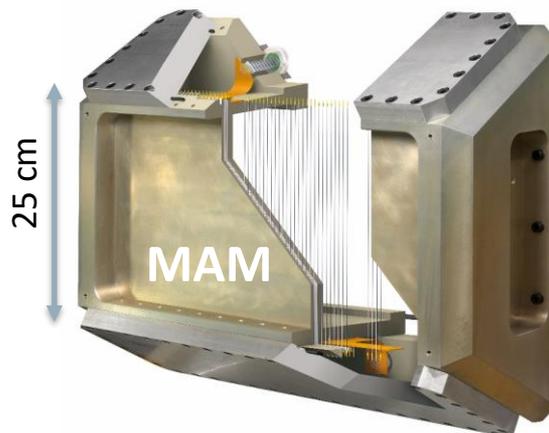


Exemple: Détecteur PANTHER

V = 26 L par module

Ps = 13 bar

PV = 340 L.bar > 200 L.bar

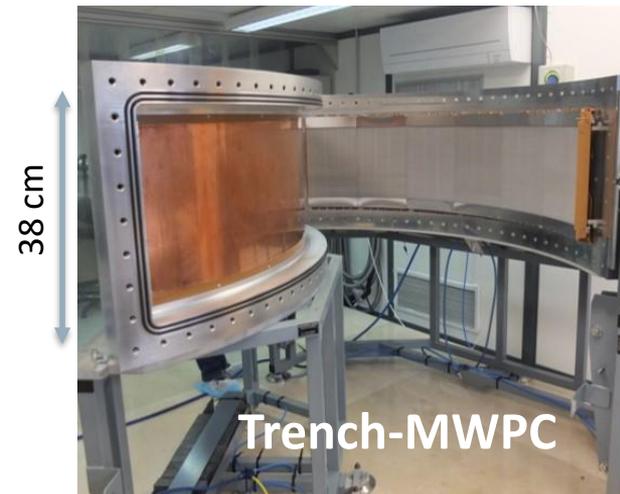


Exemple: Détecteurs Figaro et D17

V = 1.5 L

Ps = 15 bar

PV = 22 L.bar < 200 L.bar



Exemple: Détecteur D16

V = 90 L

Ps = 7 bar

PV = 630 L.bar > 200 L.bar

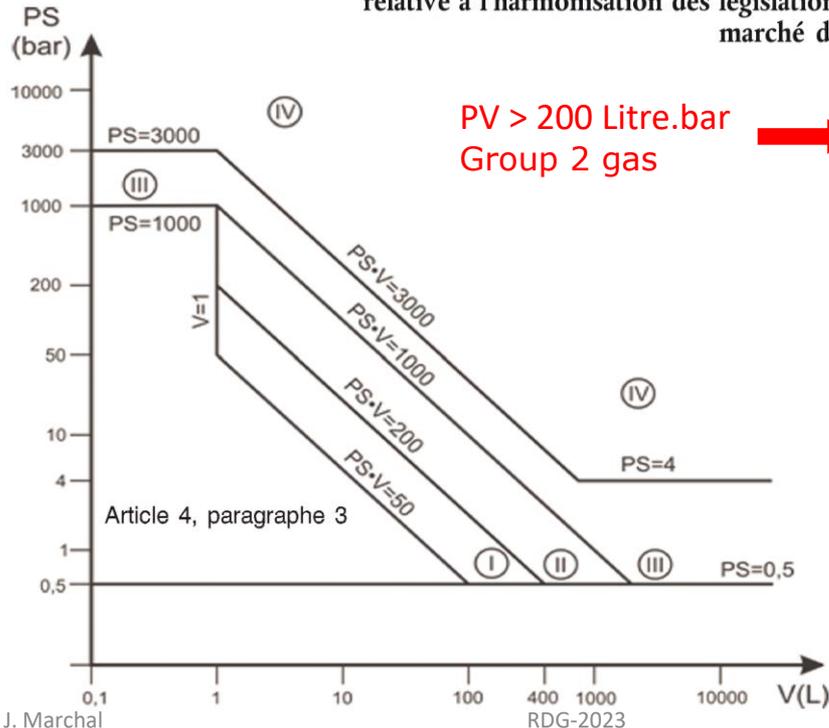
Mise en service des enceintes sous pression

Directive européenne 2014/68



DIRECTIVE 2014/68/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL
du 15 mai 2014

relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la mise à disposition sur le marché des équipements sous pression



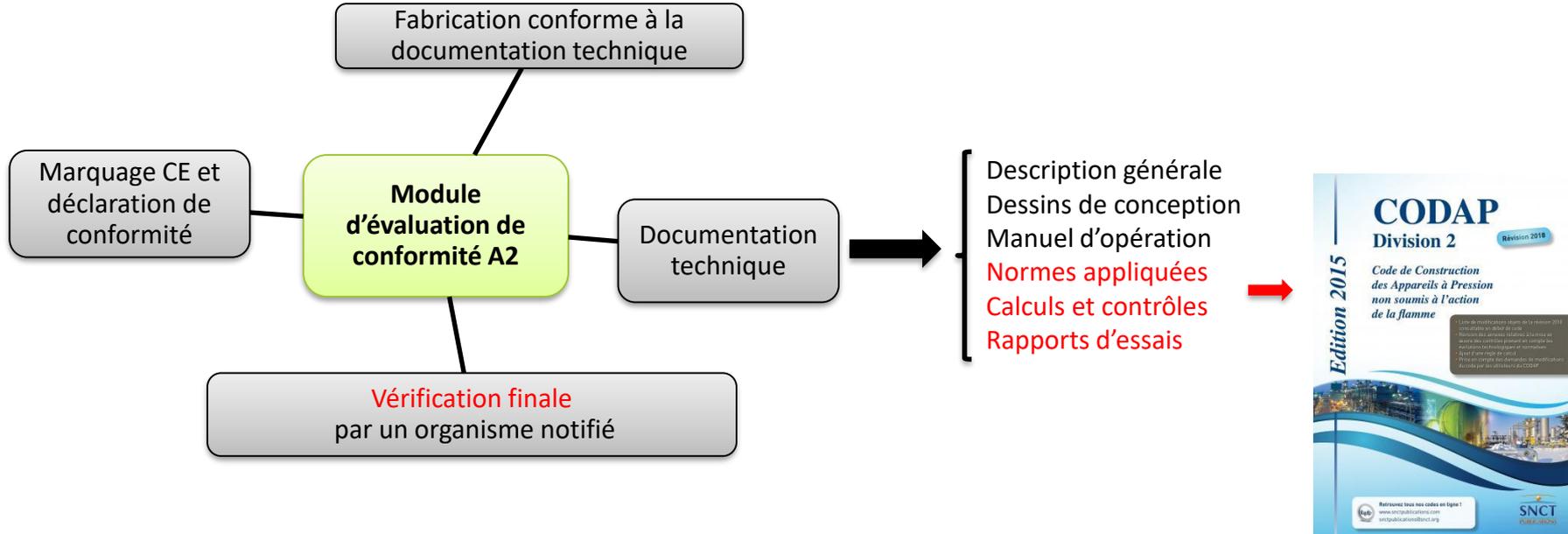
PV > 200 Litre.bar
Group 2 gas → Catégorie II

3 modules d'évaluation possibles :

- **A2 : Contrôle interne de fab. + contrôles supervisés à intervalles aléatoires**
- D1: Assurance de la qualité du procédé de fabrication
- E1: Assurance de la qualité de l'inspection des ESP finis et des essais

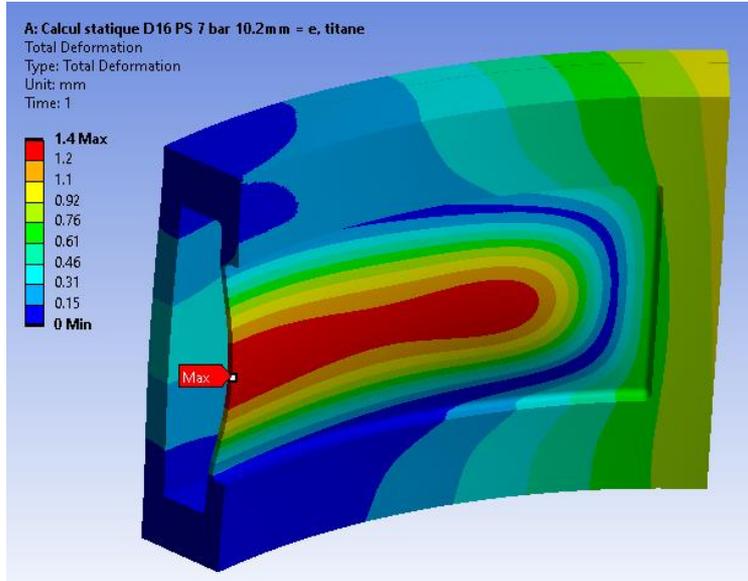
Mise en service des enceintes sous pression

Directive européenne 2014/68



Mise en service des enceintes sous pression

Calculs



D16 Trench-MWPC

Caractéristiques des matériaux définies par les normes indiquées dans le CODAP



Simulation par éléments finis des contraintes et des déformations



Validation à partir des contraintes maximales admissibles définies pas le CODAP



Mise en service des enceintes sous pression

Procédures de contrôles spécifiques **avant usinage**

Exemple: D16 Trench-MWPC

Certificat de composition chimique

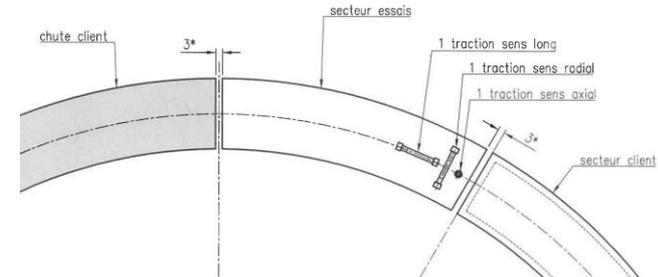
Certificat de contrôle par ressuage

Certificat de contrôle
par US 100%

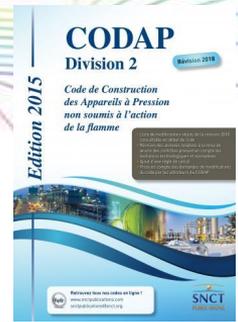


Certificat de contrôle mécanique

- Limite d'élasticité $R_{p0.2}$
- Contrainte maxi avant rupture R_m
- Allongement relatif



➔ Certificat EN 10204: 2004 3.2

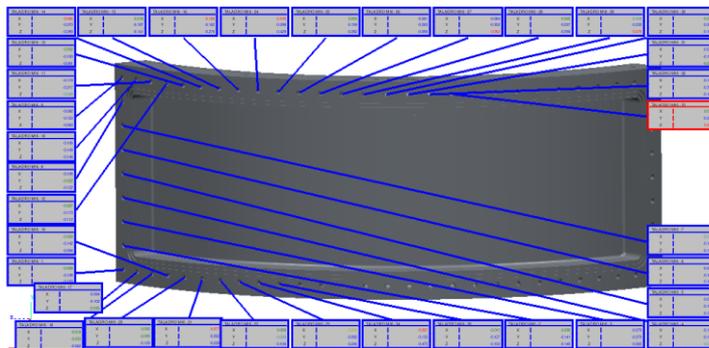


Mise en service des enceintes sous pression

Procédures de contrôles spécifiques après usinage

Exemple: D16 Trench-MWPC

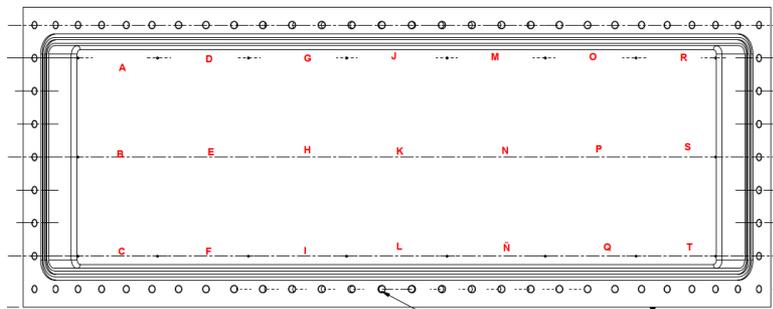
Métrie
complète des
pièces usinées



Certificat de contrôle par ressuage

Contrôle US de l'épaisseur de la fenêtre d'entrée

Ep: 10,2 mm
Tolérance: (0/+0.3)

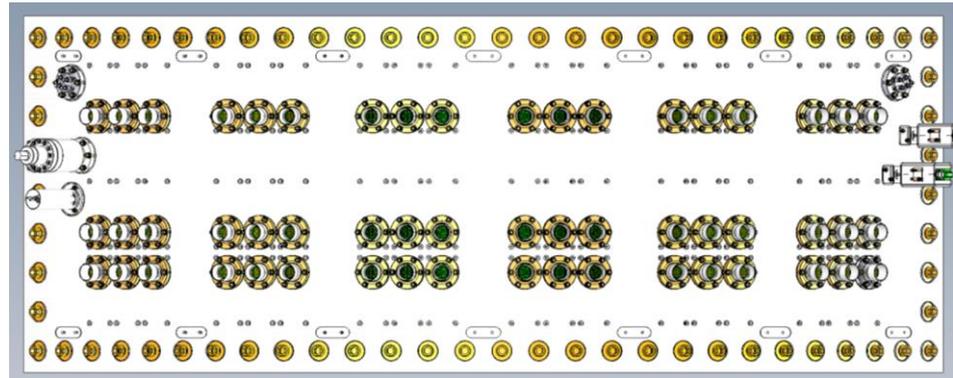


Mise en service des enceintes sous pression

Certificats des autres éléments mécaniques

Exemple: D16 Trench-MWPC

Élément de l'enceinte	Type de certificat EN 10204: 2004
Bride et couvercle alu	3.2
Helicoils + visserie titane	3.1
Inox vannes et traversées	3.1
Visserie inox	2.2 ou 2.1



Mise en service des enceintes sous pression

Test en pression

DIRECTIVE 2014/68/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL

du 15 mai 2014

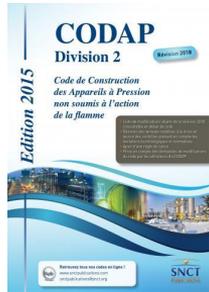
relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la mise à disposition sur le marché des équipements sous pression



3.2.2. Épreuve

La vérification finale des équipements sous pression comprend un essai de résistance à la pression qui prend normalement la forme d'un essai de pression hydrostatique à une pression au moins égale, lorsque cela est approprié, à la valeur fixée au point 7.4.

Dans le cas où l'essai de pression hydrostatique est nocif ou ne peut pas être effectué, d'autres essais d'une valeur reconnue peuvent être réalisés. Pour les essais autres que l'essai de pression hydrostatique, des mesures complémentaires, telles que des contrôles non destructifs ou d'autres méthodes d'efficacité équivalente, doivent être mises en œuvre avant ces essais.



CODAP Division 2 : 2010

PARTIE CE
CONTRÔLES - ESSAIS - INSPECTION
SECTION CE2
ESSAIS

S'il juge l'opération envisagée trop dangereuse, le Fabricant est en droit de refuser la réalisation d'un essai de résistance à l'aide d'un fluide compressible

Sauf si la réglementation applicable (voir Annexes GA4 et suivantes) prévoit d'autres dispositions qu'il convient alors de respecter, la pression d'essai pneumatique doit être au moins égale à

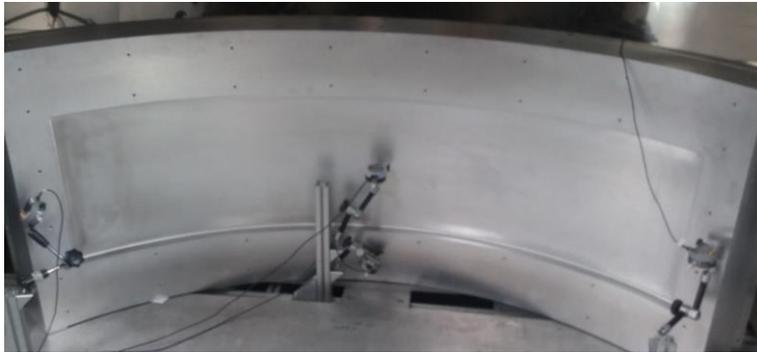
1,1 PS

Mise en service des enceintes sous pression

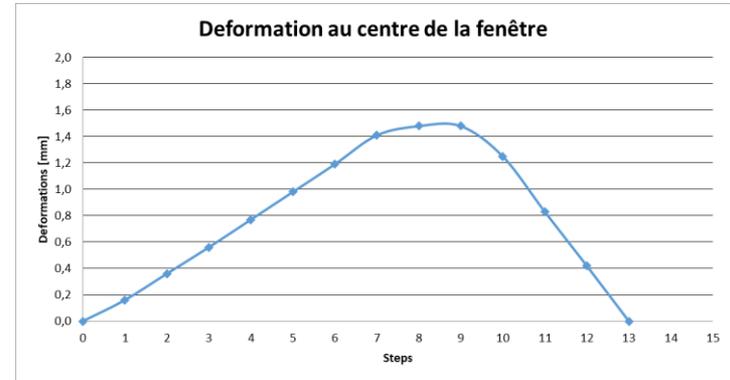
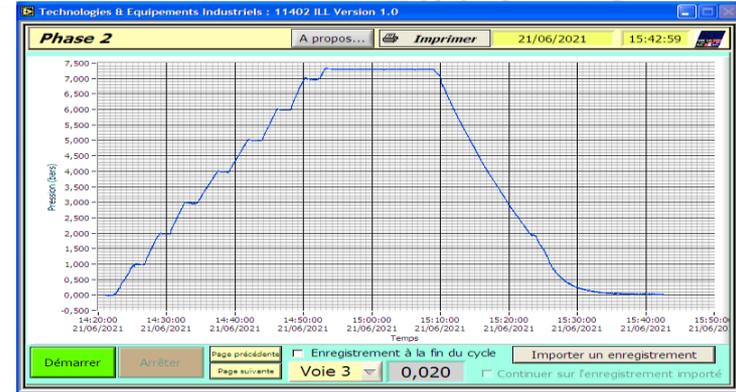
Test en pression

Montée en pression par paliers jusqu'à la pression de service
Pression de test : **1.1 x pression de service**

Exemple: D16 Trench-MWPC

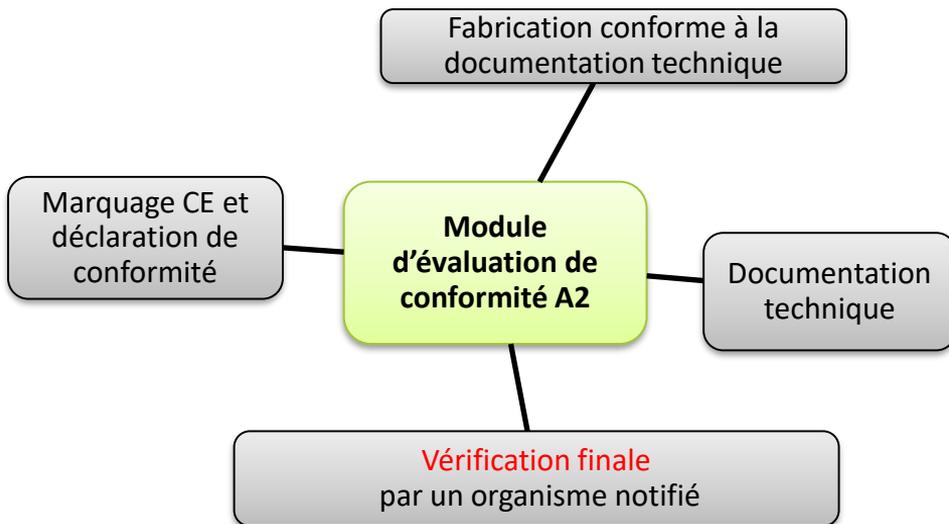


Capteurs de position montés sur l'enceinte pendant le test en pression



Mise en service des enceintes sous pression

Directive européenne 2014/68



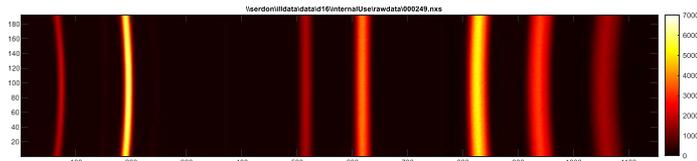
INSTITUT LAUE-LANGEVIN		
71, Avenue des Martyrs CS20156 38042 Grenoble Cedex 9 FRANCE		NEUTRONS FOR SOCIETY
Dossier N°	D16	
Année	2022	
Code Construction	CODAP 2010 REV.10/12 CAT.B2	
Etat et Groupe du Fluide	Gaz gr.2	
Pression Maximale Admissible (PS)	7 bars	
Température Admissible TS Min/Max	15°C / 35°C	
Pression d'Epreuve (PT)	7.7 bars (Pneumatique)	
Date d'Epreuve	09/06/2022	
Volume	90 Litres	
Poids Total à Vide	420 Kg	
Catégorie de Risque	II	
Module	A2	
N° Organisme	0060	

Exemple: D16 Trench-MWPC

Mise en service des détecteurs sur D16 et XtremeD

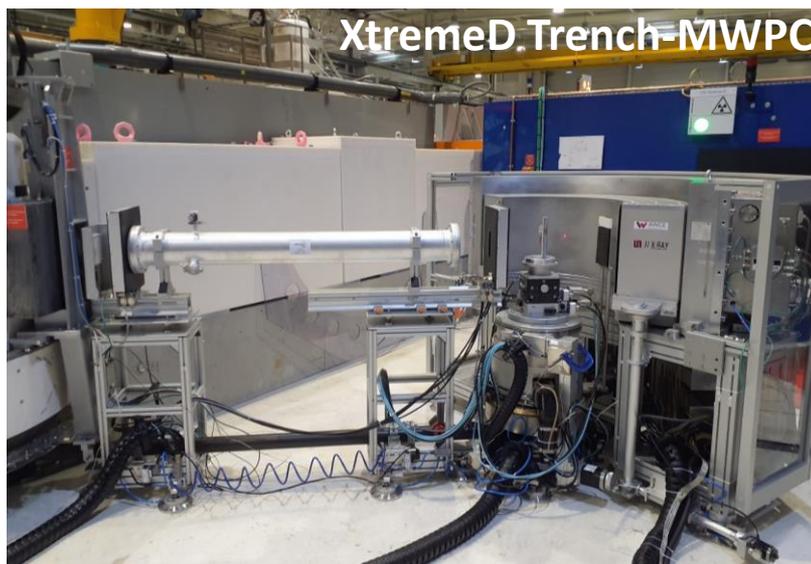
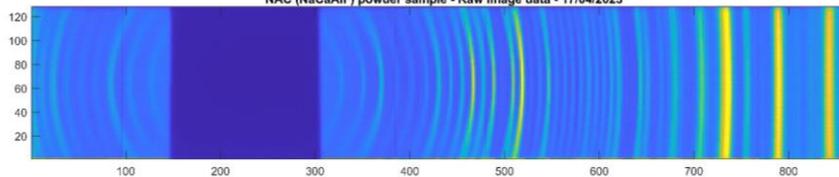
Premières images obtenues en Mars 2023 sur D16

First image obtained on D16 with the new Trench-MWPC from a YIG powder sample



Premières images obtenues en Avril 2023 sur XtremeD

XtremeD Trench-MWPC detector
NAC (NaCaAlF) powder sample - Raw image data - 17/04/2023



Suivi en service des enceintes sous pression

Arrêté du 20/11/2017



3 décembre 2017

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Texte 5 sur 74

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Arrêté du 20 novembre 2017 relatif au suivi en service des équipements
sous pression et des récipients à pression simples

NOR : TREP1723392A

Suivi en service des enceintes sous pression

Arrêté du 20/11/2017

TITRE IV

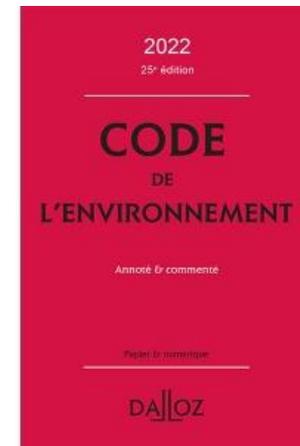
SUIVI EN SERVICE

Art. 12. – En application de l'article R. 557-14-4 du code de l'environnement, un équipement ou un accessoire mentionné au I ou aux 1° et 2° du III de l'article R. 557-14-1 de ce même code fait l'objet d'un suivi en service :

Article R557-14-1

2° Les récipients destinés à contenir un gaz du groupe 2 autre que la vapeur d'eau ou l'eau surchauffée, dont le produit $PS \times V$ de la pression maximale admissible PS par le volume V est supérieur à 200 bars. litres à l'exception de ceux pour lesquels V est au plus égal à un litre et PS au plus égale à 1 000 bars, et de ceux dont la pression maximale admissible est au plus égale à :

- a) 2,5 bars s'il s'agit d'appareils à couvercle amovible à fermeture rapide ;
- b) 4 bars pour les autres récipients ;



Suivi en service des enceintes sous pression

Arrêté du 20/11/2017

ESP
faisant l'objet d'un
Plan d'Inspection



Nécessite un plan d'inspection
établi selon des guides
professionnels approuvés par
les autorités compétentes

ESP
ne faisant pas l'objet d'un
Plan d'Inspection



- **Inspection périodique** tous les 3 ou 4 ans
- **Requalification périodique** tous les **10 ans**

Suivi en service des enceintes sous pression

Arrêté du 20/11/2017



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Art. 21. – I. – Au vu des résultats favorables de l’inspection prévue à l’article 20, **une épreuve hydraulique** est réalisée en présence de l’organisme habilité suivant les dispositions du I de l’article 34.

II. – L’épreuve hydraulique de requalification périodique consiste à soumettre l’équipement à une pression au moins égale à 120 % de sa pression maximale admissible (PS), sans dépasser la pression d’essai hydrostatique (PT) ou d’épreuve initiale (PE).

III. – Cette pression est maintenue pendant le temps nécessaire à l’examen complet des parois extérieures de l’équipement sous pression.

IV. – L’épreuve hydraulique de requalification périodique est satisfaisante si l’équipement sous pression n’a pas fait l’objet de suintement, fuite ou rupture pendant la durée de l’épreuve et ne présente pas de déformation permanente visible.

Suivi en service des enceintes sous pression

Arrêté du 20/11/2017

V. – L'épreuve hydraulique peut être remplacée par un autre essai de résistance sous pression permettant de vérifier que l'équipement sous pression peut supporter avec un coefficient de sécurité approprié une pression supérieure ou égale à sa pression maximale admissible (PS). Les modalités de réalisation de l'essai de résistance sont définies dans un guide professionnel approuvé par décision du ministre chargé de la sécurité industrielle, après avis de l'autorité de sûreté nucléaire pour les équipements sous pression implantés dans le périmètre d'une installation nucléaire de base, publiée au *Bulletin officiel* du ministère chargé de la sécurité industrielle.

VI. – L'épreuve hydraulique peut être remplacée par un contrôle par émission acoustique effectué conformément au guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique des équipements sous pression mentionné en annexe 1.

Suivi en service des enceintes sous pression

Test de faisabilité de contrôle par émission acoustique

Montage des capteurs piézo-électriques



Vérification de l'instrumentation et de la localisation

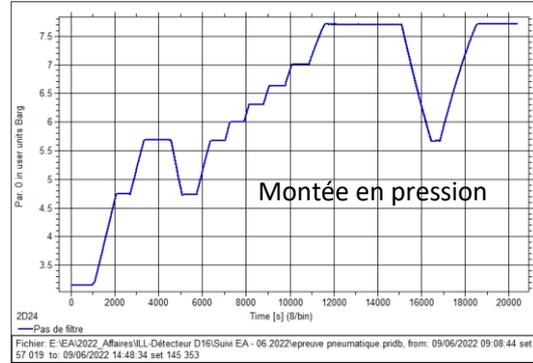
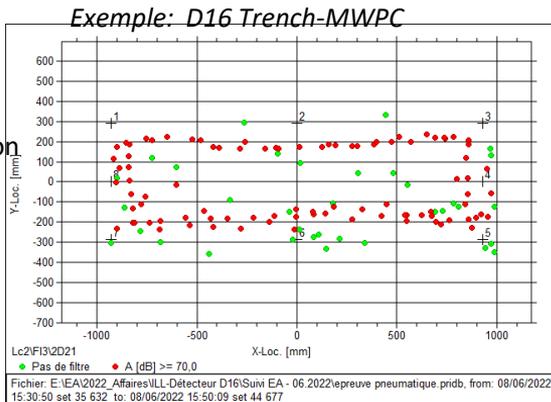


Figure n°5 : Cycle de sollicitation réel appliqué à l'équipement

7.2.2.2 Analyse par zone

Annexe 6

Voie	NIS	NIS	N3S/Zone (En bleu : Palier de 10 minutes, dont pris en compte [2 min; 10 min]; En rouge : Paliers de 30 minutes dont pris en compte [2 min; 30 min])								Act. activité	Int. intensité	RF	Classe Finale						
			4,73 barg	5,67 barg	4,73 barg	5,67 barg	5,99 barg	6,3 barg	6,62 barg	7 barg					7,7 barg	7,7 barg				
1																				
2	32					8														
3																				
4																				
5	1	1																		
6	3																			
7																				
8																				
9																				
10	10																			
11	18																			
12	5																			
13	9																			



Région émissives classées en catégories selon le guide AFIAP/GEA des bonnes pratiques pour le contrôle par EA

➔ Toutes les zones classées en catégorie 1

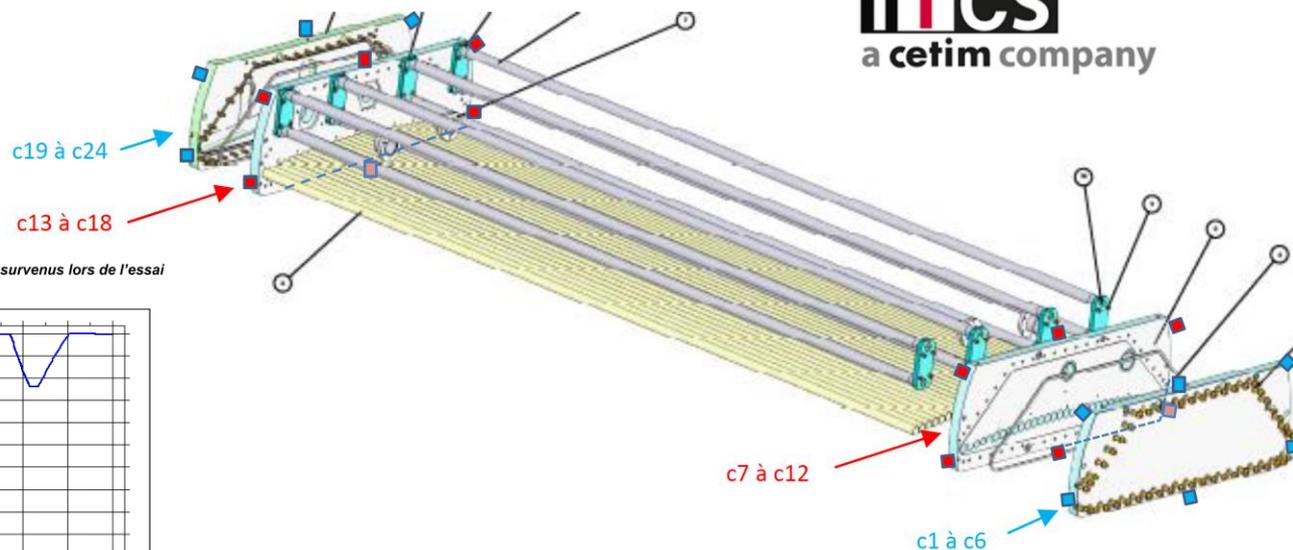
➔ Validation de la méthode de contrôle par EA pour ce type d'enceinte

Suivi en service des enceintes sous pression

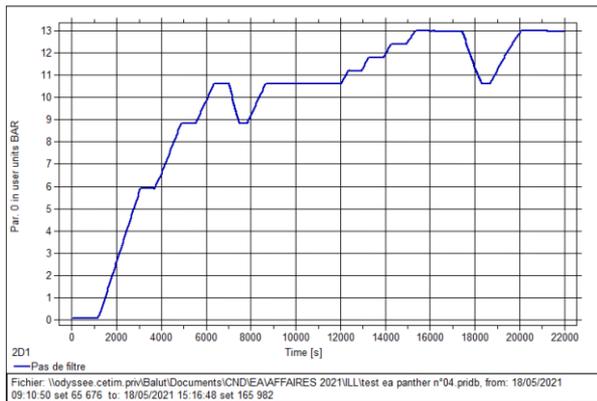
Test de faisabilité de contrôle par émission acoustique

Faisabilité du contrôle par EA également validée pour le détecteur Multitube PANTHER

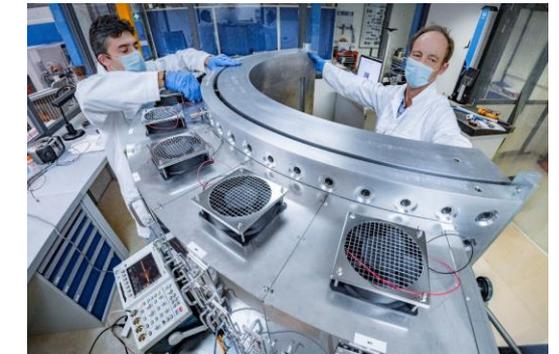
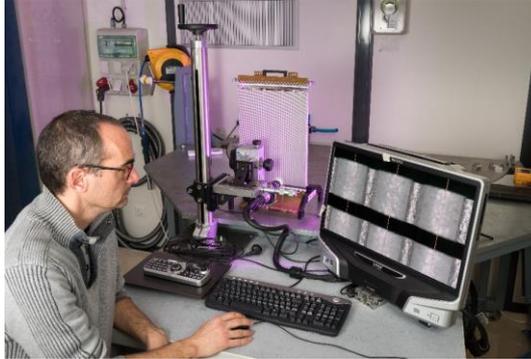
ITCS
a cetim company



7.1.2 Cycle de chargement réel appliqué - Principaux événements survenus lors de l'essai



Service des détecteurs de neutrons à l'ILL





INSTITUT LAUE LANGEVIN